

# Planejando o uso de águas residuárias para irrigação na Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, com um balanço hídrico climatológico decendial

Jorge Luiz Moretti de Souza<sup>1\*</sup> e Clodoveu Valdeni Trentin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Rua dos Funcionários, 1540, 80035-050, Curitiba, Paraná, Brasil. <sup>2</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências do Solo, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. \*Autor para correspondência. E-mail: jmoretti@ufpr.br

**RESUMO.** O presente trabalho realizou um estudo voltado ao planejamento do uso de águas residuárias, utilizando um programa de simulação do balanço hídrico climatológico decendial para fins de irrigação suplementar. As simulações foram realizadas para três grupos de culturas, em duas localidades na Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná (Colombo e Campo Largo), onde se encontram instaladas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Considerando a precipitação provável em nível de 75% de probabilidade, a irrigação suplementar necessária às olerícolas, frutas/forageiras e grãos ficaram em torno de 123,5, 158,9 e 205,3 mm, respectivamente, sendo necessárias entre 2 e 5 irrigações ano<sup>-1</sup>, na localidade de Colombo (*CAD* = 103,4 mm), e entre 5 e 13 irrigações ano<sup>-1</sup>, para Campo Largo (*CAD* = 43,2 mm). Considerando a vazão de projeto da ETE e a amplitude máxima entre valores prováveis a 75% de *ET<sub>0</sub>* e precipitação, apenas 118,9 e 396,3 ha poderão ser irrigados em Colombo e Campo Largo, respectivamente.

**Palavras-chave:** reuso da água, agricultura irrigada, culturas agrícolas.

**ABSTRACT. Planning the wastewater use to irrigation in the Metropolitan Region of Curitiba, state of Paraná with a climatic water balance.** The present work accomplished an applied study for the planning of the wastewater use, using a decadal climatic water balance program to simulate the supplemental irrigation. The simulations were accomplished for three groups of cultures, in two sites of the Metropolitan Region of Curitiba, State of Paraná (Colombo and Campo Largo), where the Effluents Treatment Stations (ETS) are installed. Considering the probable precipitation at the 75 percent level (*P75%*), the supplemental irrigation for the vegetables, fruits/forage and grain plants in the region of Campo Largo and Colombo is approximately 123.5, 158.9 and 205.3 mm, respectively, requesting approximately 2 to 5 irrigation year<sup>-1</sup> to Colombo (*AWC* = 103.4 mm) and approximately 5 to 13 irrigation year<sup>-1</sup> for Campo Largo (*AWC* = 34.6 mm). Considering the project discharge of ETS and the maximum width between *ET<sub>0</sub>75%* and *P75%*, only 118.9 and 396.3 ha could be irrigated in Colombo and Campo Largo, respectively.

**Key words:** water reuse, irrigated agriculture, agricultural cultures.

## Introdução

A demanda por água tratada tem feito do reuso planejado de água um tema atual e de grande importância, principalmente na nova política nacional de recursos hídricos. Neste contexto, os esgotos tratados têm um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins agrícolas e de irrigação, entre outros (Setti *et al.*, 2001).

Sousa *et al.* (2001) comentam que a adequação da água para irrigação ainda é muito subjetiva, no entanto deve-se sempre tentar identificar e avaliar

alguns parâmetros que poderão produzir efeitos desagradáveis na relação água, planta e solo. Dessa forma, sempre é importante analisar as características físico-químicas, a qualidade sanitária da água, as características do solo, a tolerância das culturas a serem utilizadas, os parâmetros do clima local, o manejo da irrigação e drenagem.

Trentin e Souza (2006), visando a identificar as melhores ETES para reutilização da água na agricultura irrigada, levando-se em consideração a importância, o porte, a qualidade da água e principalmente a potencialidade para fins agrícolas existentes ao redor de trinta e cinco ETES, na Região

Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná, verificaram entre as estações analisadas que as ETEs Cambuí, Colombo Sede e Lapa apresentam os melhores indicadores. Neste trabalho, os autores não abordaram os parâmetros do clima local e o manejo da irrigação, visando ao planejamento dos recursos hídricos existentes nas ETEs mais indicadas ao aproveitamento agrícola das águas residuárias.

A literatura é rica em considerações, afirmando desenvolvimentos de estudos que permitam auxiliar as atividades de planejamento quanto à possibilidade de uso das águas residuárias são extremamente úteis e necessários às decisões futuras para utilização desse recurso na irrigação agrícola, nos cinturões verdes em torno das ETEs.

O manejo da irrigação de uma cultura deve ser feito baseando-se em critérios que possibilitem a aplicação de água no solo de forma a promover o seu bom desenvolvimento e, conseqüentemente, a produção ótima. A irrigação deve repor ao solo a quantidade de água retirada pela cultura, e o momento de se irrigar pode ser identificado quando a disponibilidade de água no solo assumir valor mínimo, abaixo do qual a planta começa a sentir os efeitos da restrição de água (Tormena *et al.*, 1999).

Uma forma muito utilizada para planejar e manejar a irrigação consiste em estimar a necessidade de água a partir do balanço hídrico dos solos, calculando a disponibilidade hídrica por meio de uma contabilização das entradas e saídas de água no/do sistema solo-água-planta (Santana *et al.*, 2003).

Um dos processos de balanço hídrico climatológico mais citados e utilizados na literatura é o descrito por Thornthwaite e Mather (1955). Essa metodologia permite quantificar o valor das deficiências e excedentes hídricos de uma dada região, em milímetros, e tem se mostrado eficiente para programar e definir as irrigações necessárias a diferentes culturas.

Souza (2001) e Souza e Frizzone (2003), visando ao planejamento de projetos de irrigação, desenvolveram um programa denominado “Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do caféiro – MORETTI”, que possui um módulo denominado “Balanço hídrico climatológico decennial”. A realização desse módulo baseou-se no processo de cálculo recomendado por Thornthwaite e Mather (1955), e, segundo os autores, o modelo mostrou-se eficiente para realizar os cálculos voltados ao planejamento da agricultura irrigada, sendo que os mecanismos de ajuste existentes permitiram a escolha das melhores alternativas e a composição de cenários para serem analisados.

Mediante as considerações dispostas anteriormente, o presente trabalho teve como objetivo realizar um balanço hídrico irrigacionista voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação suplementar, ao longo de todo o ano, para três grupos de culturas (olerícolas, frutas/forrageiras e grãos), na região de Campo Largo e Colombo, onde se encontram instaladas as Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), denominadas Cambuí e Colombo Sede, respectivamente.

## Material e métodos

A escolha da região em torno das ETEs Cambuí e Colombo Sede, para realizar este estudo, baseou-se no diagnóstico realizado por Trentin (2005) e Trentin e Souza (2006). A ETE Cambuí, localizada em Campo Largo, foi escolhida por situar-se em uma área rural, estar em processo de certificação pela International Organization for Standardization (ISO 14000) e ISO 14001 - Sistema de Gestão Ambiental. A ETE está operando com 50% de sua capacidade e gerando  $180 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  de efluente tratado, em média. A ETE Colombo Sede, localizada no município de Colombo, também foi escolhida por situar-se próxima de área rural. Atualmente ela encontra-se operando com 8,3% de sua capacidade e realizando tratamento de  $9,84 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  de efluente tratado, em média.

O programa “MORETTI – Módulo: Balanço hídrico climatológico decennial irrigacionista, Versão 2.0” Souza (2005), extraído do modelo original realizado por Souza (2001) – Modelo para a análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para a cultura do caféiro (MORETTI) – foi utilizado para proceder às análises de simulação do balanço hídrico para a região próxima às duas ETEs. O levantamento dos dados de entrada no modelo bem como a escolha das opções necessárias foram realizados seguindo as recomendações de Souza (2001), Souza e Frizzone (2003) e Frizzone *et al.* (2005).

O módulo “Balanço hídrico climatológico decennial irrigacionista”, assim como qualquer outro programa que se destine à realização de balanços hídricos, necessita ser alimentado com uma série de dados e opções. A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado, contendo a estrutura lógica de algumas partes do programa, sendo possível verificar: os dados de entrada para identificação do local e a realização das análises; as opções de realização do balanço hídrico; a leitura das opções e dos dados para análise; a lógica do processo de simulação; e os resultados que são obtidos na saída.

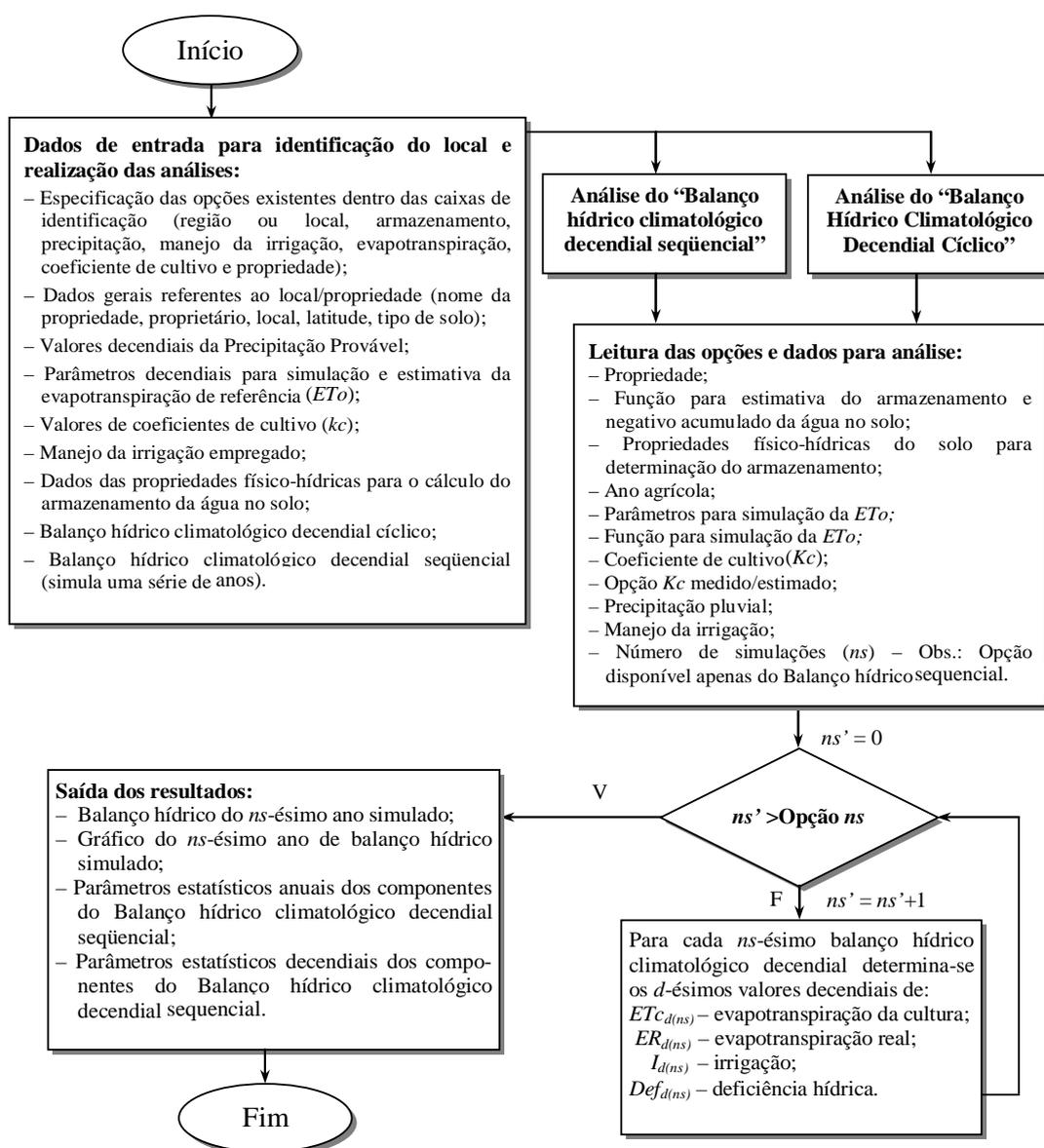
Sendo assim, para realizar as análises de simulação,

uma série de dados tiveram de ser obtidos, processados e analisados para servir de entrada no programa. Os subitens a seguir apresentam como esses dados foram obtidos, calculados e/ou quais foram os procedimentos utilizados e que se encontram disponíveis nas rotinas do modelo.

#### (a) Dados climáticos de precipitação e temperatura do ar

O levantamento das séries de medidas da precipitação e temperatura média do ar foi realizado junto ao Instituto Meteorológico do Paraná (Simepar). A série de dados da localidade de Pinhais

(janeiro de 1970 até março de 2004 – série contendo 33 anos e 3 meses) foi escolhida devido à qualidade dos dados (poucas falhas na série), ao tamanho (número de anos coletados) e por estar próxima das duas ETEs de interesse. A estação climatológica de Curitiba foi descartada por possuir uma série pouco representativa, com apenas 7 anos de dados coletados. Após a seleção da série de Pinhais, os dados de precipitação e temperatura foram tabulados e agrupados em períodos decendiais, com o auxílio de uma planilha eletrônica.



**Figura 1.** Fluxograma contendo a estrutura lógica de algumas partes do programa "MORETTI – Módulo: Balanço hídrico climatológico decendial irrigacionista".

### (b) Estimativa da evapotranspiração de referência decendial (ET<sub>o</sub>)

A estimativa da evapotranspiração de referência decendial (ET<sub>o</sub>) foi realizada a partir dos dados de temperatura média do ar, empregando-se o método de Thornthwaite (1948) e seguindo-se as recomendações de Pereira *et al.* (1997). Foram estimados valores de evapotranspiração de referência decendial, conforme as Equações 1 e 2, para toda a série de 33 anos e 3 meses de Pinhais.

$$ET_{o_{dma}} = \frac{ET_{o_{ma}} \cdot \frac{N_{dm}}{12} \cdot \frac{ND_{ma}}{30}}{ND_{ma}} \cdot NDD_d \quad (1)$$

$$ET_{o_{ia}} = 16 \cdot \left( 10 \cdot \frac{T_{i_{da}}}{I} \right)^a, \text{ sendo } T_{i_{da}} > 0^\circ\text{C} \quad (2)$$

Sendo: ET<sub>o<sub>dma</sub></sub> a evapotranspiração de referência do *d*-ésimo decêndio, *m*-ésimo mês e *a*-ésimo ano (mm·mês<sup>-1</sup>); ET<sub>o<sub>ma</sub></sub> a evapotranspiração de referência mensal para um *m*-ésimo mês de 30 dias e 12 horas de brilho solar, do *a*-ésimo ano (mm·mês<sup>-1</sup>); *N<sub>dm</sub>* o número de horas de brilho solar no *d*-ésimo decêndio e *m*-ésimo mês do local (h); *ND<sub>ma</sub>* é o número de dias do *m*-ésimo mês (dias) e *a*-ésimo ano; *NDD<sub>d</sub>* é o número de dias do *d*-ésimo decêndio (dias); *T<sub>i<sub>da</sub></sub>* a temperatura média do ar (°C) – foi utilizada a temperatura média do *d*-ésimo decêndio e *a*-ésimo ano, ao invés da temperatura mensal, seguindo as recomendações de Souza *et al.* (1994); *I* o índice de calor da região, calculado com valores normais de temperatura (adimensional); *a* é a função cúbica do índice de calor (*I*) da região (adimensional).

### (c) Distribuição de probabilidade de melhor ajuste aos dados climáticos

As análises de distribuição de frequência e teste de aderência para obter os parâmetros estatísticos da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou aos dados de precipitação e ET<sub>o</sub>, agrupados em decêndios, foram realizadas em um programa denominado “MORETTI – Módulo: Distribuição de frequência e teste de aderência, Versão 2.0” (Souza, 2005), que também foi extraído do modelo MORETTI original, realizado por Souza (2001). Esse módulo foi adaptado e melhorado especialmente para realizar as análises, empregando cinco distribuições de probabilidade (normal, triangular, uniforme, exponencial e gama), e realiza o cálculo das medidas de tendência e dispersão, distribuições de frequência/probabilidade e teste de

aderência de Kolmogorov-Smirnov (5% de significância), levando-se em consideração os procedimentos recomendados por Assis *et al.* (1996) e Frizzone *et al.* (2005). Tanto para precipitação como para ET<sub>o</sub>, as análises de teste de aderência foram realizadas para cada um dos 37 decêndios verificados ao longo do ano, considerando toda a série de *n* anos de dados existentes na mesma.

### (d) Valores decendiais de ET<sub>o</sub> e chuva provável

Os valores decendiais de chuva utilizados como dados de entrada no programa são prováveis em nível de 75% de probabilidade. Os valores foram estimados em planilha eletrônica Microsoft Excel 2000, considerando-se os parâmetros estatísticos da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou aos dados decendiais observados.

Na estimativa da precipitação provável, como algumas das distribuições analisadas não admitem valores nulos, adotou-se o conceito de distribuição mista, conforme as recomendações de Assis *et al.* (1996). Assim, a função cumulativa de probabilidade foi determinada em duas partes (Equação 3). A estimativa da ET<sub>o</sub> provável ao nível de 75% de probabilidade resultou diretamente da função cumulativa de probabilidade (Equação 4).

$$F(X) = P_o + (1 - P_o) \cdot D(X) \quad (3)$$

$$F(X) = D(X) \quad (4)$$

Sendo: *F(X)* a função cumulativa de probabilidade da distribuição mista; *P<sub>o</sub>* a probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros); *D(X)* a distribuição cumulativa teórica, onde os parâmetros são estimados na ausência de zeros. Os decêndios contendo valores de precipitação menores que 1 mm foram considerados na probabilidade de ocorrência de valores nulos (zeros).

Quanto aos parâmetros necessários para simular a ET<sub>o</sub> decendial nas análises de balanço hídrico sequencial, optou-se por utilizar a distribuição de probabilidade normal. Assumir esta simplificação foi necessário porque o programa não possibilita a escolha de diferentes distribuições de probabilidade para os decêndios ao longo do ano. Essa limitação não causa maiores problemas nas análises, conforme pode ser verificado em Trentin (2005), que constatou que a distribuição normal apresentou melhor ajuste em 19 decêndios ao longo do ano em Pinhais. Nos 18 decêndios restantes, a distribuição normal também apresentou ajustamento estatístico,

porém o ajuste da distribuição Gama foi melhor em 16 decêndios, e a triangular em 2 decêndios.

#### (e) Valores de coeficientes de cultivo ( $K_c$ )

Para transformar a  $ET_0$  em Evapotranspiração da Cultura ( $ET_c$ ), ao longo dos decêndios do ano, foram considerados como entrada no programa três grupos de culturas, empregando-se valores de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) iguais a 0,7 para as olerícolas, 0,8 para frutas e forrageiras e 0,9 para grãos.

#### (f) Manejo da irrigação empregado

O manejo decendial das irrigações foi realizado considerando as condições: “realizar irrigação o ano todo” e “não proceder irrigação”. É importante observar que o programa utilizado sempre considera que o manejo da irrigação empregado nos decêndios é suplementar. Desta forma, a irrigação em um determinado decêndio ao longo do ano somente é realizada se duas condições forem satisfeitas, ou seja: se a irrigação no decêndio foi habilitada (em função do manejo adotado); e se o armazenamento e a fração água disponível no solo acusarem a necessidade de irrigação (verificada na simulação do balanço hídrico) (Souza, 2001; Souza e Frizzone 2003; Frizzone *et al.*, 2005).

#### (g) Propriedades físico-hídricas para o cálculo do armazenamento da água no solo

A Tabela 1 apresenta as coordenadas geográficas dos locais de coleta das amostras de solo, nas propriedades agrícolas situadas em Campo Largo e Colombo, que serviram para caracterizar os parâmetros físico-hídricos do solo.

**Tabela 1.** Coordenadas geográficas, em UTM, dos pontos de coleta das amostras de solos, nas propriedades agrícolas situadas em Campo Largo e Colombo.

Local	Coordenadas em UTM	
	X	Y
Campo Largo – Propriedade I	0647452	7179791
Campo Largo – Propriedade II	0647753	7179648
Colombo – Propriedade I	0675138	7201478
Colombo – Propriedade II	0676497	7201555

Para a análise granulométrica, quatro amostras de solo foram retiradas em cada propriedade, nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm. Para a densidade aparente do solo, as amostras foram retiradas com o auxílio de anéis volumétricos, nas profundidades de 0 a 5 cm e 5 a 10 cm. A determinação da densidade aparente e granulometria do solo foram realizadas de acordo com a análise de rotina do Laboratório de Física do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola/SCA/UFPR.

A determinação dos teores de umidade do solo na condição de Capacidade de Campo ( $CC$ ) e Ponto de Murcha Permanente ( $PMP$ ) foram realizadas através do modelo Van Genuchten (1980) (Equação 5), citado por Reichardt (1996).

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \cdot |\phi_m|)^n]^m} \quad (5)$$

Sendo:  $\theta$  a umidade ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $|\phi_m|$  o potencial mátrico da água no solo (cm);  $\theta_r$  a umidade residual ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $\theta_s$  a umidade de saturação ( $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $\alpha$ ,  $m$ ,  $n$  são parâmetros de ajuste.

Os parâmetros de ajuste  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  da curva de retenção de água no solo, a umidade de saturação ( $\theta_s$ ) e a umidade residual ( $\theta_r$ ) foram determinados com o auxílio do programa *SPLINTEX*, desenvolvido por Prevedello (1999). Foram inseridos no programa dados de densidade do solo, percentuais acumulados da textura do solo (determinados no laboratório), e a densidade de partícula foi considerada igual a  $2,65 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  para os solos. O potencial mátrico de água no solo  $|\phi_m|$  para a determinação da umidade  $U_{CC}$  e  $U_{PMP}$  foram de 100 e 15.000 cm de coluna de água, respectivamente.

Para fazer o cálculo da capacidade de água disponível do solo ( $CAD$ ), utilizaram-se os valores médios de capacidade de campo ( $U_{CC}$ ), ponto de murcha permanente ( $U_{PMP}$ ) e densidade aparente do solo ( $d_a$ ), obtidos nas análises feitas nas propriedades Colombo I e II e Campo Largo I e II. Baseando-se nas sugestões de Marouelli *et al.* (2001), optou-se por adotar uma profundidade efetiva do sistema radicular igual a 40 cm para as culturas.

A Capacidade de água disponível no solo ( $CAD$ ) e a água disponível no Solo ( $AD$ ), são determinadas no programa balanço hídrico com as Equações 6 e 7, respectivamente.

$$CAD = 0,01 \cdot (U_{CC} - U_{PMP}) \cdot d_a \cdot z \quad (6)$$

$$AD = CAD \cdot p \quad (7)$$

Sendo:  $CAD$  a capacidade de água disponível (mm);  $U_{CC}$  umidade do solo na capacidade de campo com base em peso (%);  $U_{PMP}$  umidade do solo no ponto de murcha permanente com base em peso (%);  $d_a$  a densidade aparente do solo ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ );  $z$  a profundidade efetiva do sistema radicular (mm);  $AD$  a água disponível no solo (mm); e  $p$  o fator disponibilidade de água para cultura (adimensional).

A água disponível no solo ( $AD$ ) foi obtida com a entrada de valores de fração água disponível ( $p$ ) para

três grupos de culturas, sendo iguais a 0,4 para olerícolas, 0,5 para frutas/forrageiras e 0,6 para grãos (Bernardo, 1989).

Devido aos resultados obtidos por Souza (2001), Souza e Frizzone (2003) e Gomes (2005), entre as cinco equações disponíveis no programa balanço hídrico, optou-se por utilizar a equação Potencial de primeira ordem (Rijtema *et al.*, 1975), para estimar o armazenamento de água no solo, e, conseqüentemente, calcular os valores de “negativa acumulada” no balanço hídrico na região seca. Dessa forma, segundo Souza (2001), as seguintes equações foram empregadas:

– Estimativa do armazenamento ( $ARM$ ) e negativo acumulado ( $L$ ) na região úmida, ou seja, quando  $CAD \cdot (1 - p) < ARM \leq CAD$ ,

$$ARM = CAD - L \quad (8)$$

– Estimativa do armazenamento ( $ARM$ ) e negativo acumulado ( $L$ ) na região seca, ou seja, quando  $0 < ARM \leq CAD \cdot (1 - p)$ ,

$$ARM = CAD \cdot (1 - p) \cdot e^{\left[ \left( p \frac{L}{CAD} \right) \left( \frac{1}{1-p} \right) \right]} \quad (9)$$

sendo:  $ARM$  o armazenamento de água no solo (mm) no decêndio;  $CAD$  a capacidade de água disponível (mm);  $L$  o negativo acumulado (mm);  $p$  a fração de água disponível no solo (adimensional).

#### (h) Outras opções

– As simulações foram realizadas com a opção “Balanço hídrico climatológico decendial irrigacionista seqüencial” (simula uma série de anos).

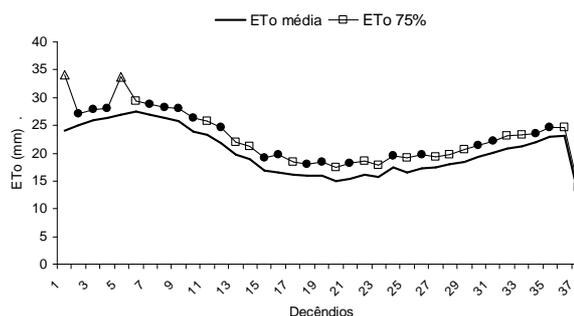
– Número de simulações: cada análise de balanço hídrico foi realizada empregando-se 10.000 simulações.

#### Resultados e discussão

A Figura 2 apresenta os valores de evapotranspiração de referência decendial ( $ET_0$ ), médio e provável a 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste no decêndio (Gama, Normal e Triangular), para a cidade de Pinhais.

Analisando-se a diferença (amplitudes) entre os valores médios de  $ET_0$  e provável em nível de 75% de probabilidade, ao longo dos decêndios do ano (Figura 2), verifica-se que:

– a média das amplitudes dos valores de  $ET_0$ , ao longo do ano, foi igual a 2,5 mm ( $s = 1,5$  mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 12,6% ( $s = 6,4\%$ );

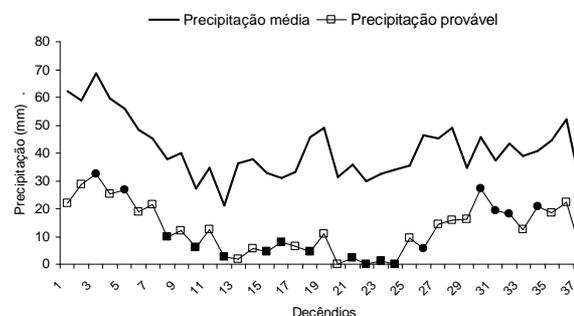


**Figura 2.** Valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), médio e em nível de 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste no decêndio ( $\square$  Gama,  $\bullet$  Normal e  $\Delta$  Triangular), para cidade de Pinhais.

– a maior amplitude percentual ocorreu no decêndio 1 (1/1 a 10/1) e foi de 41,5% (10,0 mm). A menor amplitude ocorreu no decêndio 7 (2/3 a 11/3) e foi de 6,7% (1,8 mm);

– os meses de janeiro e julho apresentam as maiores amplitudes percentuais, sendo iguais a 18,9 e 17,1%, respectivamente. Os meses de março e dezembro apresentam as menores amplitudes percentuais, sendo iguais a 7,6 e 7,8%, respectivamente.

A Figura 3 apresenta os valores de precipitação – médio e provável em nível de 75% de probabilidade – calculados com a distribuição de melhor ajuste no decêndio (Gama, Exponencial, Normal), para a cidade de Pinhais.



**Figura 3.** Valores de precipitação, médio e provável em nível de 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste no decêndio ( $\blacksquare$  Gama,  $\square$  Exponencial e  $\bullet$  Normal), para cidade de Pinhais.

Analisando-se a diferença (amplitudes) entre os valores médios de precipitação e provável em nível de 75% de probabilidade (Figura 3), ao longo dos decêndios do ano, para a cidade de Pinhais, verifica-se que:

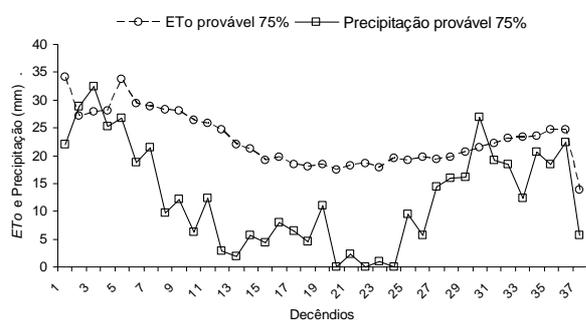
– a média das amplitudes dos valores de precipitação, ao longo do ano, foi igual a 28,7 mm ( $s = 6,4$  mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 71,8% ( $s = 17,0\%$ );

– as maiores amplitudes ocorreram nos decêndios 1 (1/1 a 10/1), 18 (20/6 a 29/6) e 26 (8/9 a 17/9) e foram iguais a 40,1, 41,2 e 41,0 mm,

respectivamente. A menor amplitude ocorreu em vários decêndios e ficou em torno de 18,0 mm;

– os meses de janeiro e julho apresentam as maiores amplitudes, sendo iguais a 35,5 e 34,2 mm respectivamente. Os meses de abril, outubro, novembro e dezembro apresentam as menores amplitudes, sendo iguais a 20,6, 23,6, 23,2 e 24,8 mm, respectivamente.

A Figura 4 apresenta, para a cidade de Pinhais, um contraste entre os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e precipitação, em nível de 75% de probabilidade, calculados com a distribuição de melhor ajuste (Gama, Normal, Exponencial e Triangular).



**Figura 4.** Valores de evapotranspiração ( $ET_0$ ) e precipitação, a 75% de probabilidade de ocorrência, calculados com a distribuição de melhor ajuste no decêndio (Gama, Normal, Exponencial e Triangular), para cidade de Pinhais.

Analisando-se a diferença (amplitudes) entre os valores de  $ET_0$  provável a 75% e precipitação provável a 75% de probabilidade (Figura 4), ao longo dos decêndios do ano, para a cidade de Pinhais, verifica-se que:

– a média das amplitudes, ao longo do ano, foi igual a 10,2 mm ( $s = 7,1$  mm). Percentualmente, a média das amplitudes ficou em 48,3% ( $s = 34,9\%$ );

– as maiores amplitudes ocorreram entre os decêndios 8 e 13 (12/3 a 10/5) e 20 a 24 (10/7 a 28/8) e foram, em média, iguais a 18,3 e 17,7 mm, respectivamente. Esse fato indica que é nos meses de março, abril, maio, julho e agosto que se têm maior possibilidade de ocorrer deficiência hídrica às plantas. O decêndio 12 (21/4 a 30/4) apresentou a maior amplitude (21,8 mm), indicando que este período deve ser analisado com maior cuidado pelos projetistas para dimensionar sistemas de irrigação;

– as menores amplitudes ocorreram nos decêndios 2 (11/1 a 20/1), 3 (21/1 a 30/1) e 30 (18/10 a 27/10) e foram negativas, ou seja, a precipitação provável foi maior do que a  $ET_0$  provável. Dessa forma, em nível de 75% de probabilidade, este período não deverá sofrer problemas de deficiência hídrica, mas, dependendo do tipo de solo, poderá

ocorrer saturação dos poros do mesmo;

– Os meses de março e agosto apresentam as maiores amplitudes, sendo iguais a 18,5 e 18,3 mm, respectivamente. Os meses de outubro e janeiro apresentam as menores amplitudes, sendo iguais a 1,0 e 1,9 mm, respectivamente.

É importante observar que as considerações feitas foram realizadas para as amplitudes entre a precipitação e a  $ET_0$  provável para as duas localidades. Na realização de projetos de irrigação é sempre mais consistente analisar as amplitudes considerando a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), sendo necessário, evidentemente, o conhecimento prévio da área e da(s) cultura(s) que se pretende irrigar ao longo do ano.

A Tabela 2 apresenta os valores de argila, silte e areia total, obtidos da análise granulométrica realizada para as duas propriedades localizadas próximas às ETEs Cambuí e Colombo Sede, nas profundidades entre 0 e 40 cm.

**Tabela 2.** Granulometria do solo, determinada nas profundidades entre 0 e 40 cm, para duas propriedades localizadas nos municípios de Campo Largo e Colombo.

Municípios	Profundidade (cm)	Argila (%)	Areia Total (%)	Silte (%)
Campo Largo I	0 – 20	24,00	60,24	15,76
Campo Largo I	20 – 40	32,00	52,24	15,76
Campo Largo II	0 – 20	36,00	46,03	17,97
Campo Largo II	20 – 40	36,00	46,13	17,87
Colombo I	0 – 20	52,00	15,16	32,84
Colombo I	20 – 40	56,00	14,84	29,16
Colombo II	0 – 20	36,00	31,01	32,99
Colombo II	20 – 40	44,00	28,76	27,24

De acordo com o triângulo de classes de textura proposto pela Embrapa (1999), a granulometria das amostras retiradas das propriedades situadas em Campo Largo evidencia a presença de solos de textura média a argilosa. Já os resultados obtidos com as amostras das propriedades situadas em Colombo evidenciam a presença de solos de textura argilosa. Dessa forma, analisando-se os resultados apresentados na Tabela 2 com as informações obtidas sobre a caracterização do tipo e declividade do solo, feita por Trentin e Souza (2006), verifica-se que os solos amostrados em Campo Largo e Colombo são mais propícios para implantação de sistemas de irrigação por sulcos, aspersão e gotejamento. Porém, a irrigação por sulcos é limitada nessas regiões devido à topografia, que pode variar de suave ondulado, ondulado a fortemente ondulado, indicado que as práticas irrigacionistas por aspersão ou gotejamento são mais apropriadas.

A Tabela 3 apresenta os valores de capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP), densidade aparente ( $d_a$ ) e capacidade de água disponível

no solo (*CAD*), para as propriedades analisadas nos municípios de Campo Largo e Colombo.

**Tabela 3.** Parâmetros físico-hídricos e capacidade de água disponível no solo (*CAD*), determinada considerando a profundidade efetiva do sistema radicular (*z*) igual a 40 cm, para os municípios de Campo Largo e Colombo, Estado do Paraná.

Municípios	Profundidade (cm)	$\theta_{CC}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	$\theta_{PMP}$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )	<i>CAD</i> (mm)	<i>CAD</i> <sub>40cm</sub> (mm)
Campo Largo I	0-20	0,2076	0,1275	1,25	20,0	41,1
Campo Largo I	20-40	0,2541	0,1705	1,26	21,1	
Campo Largo II	0-20	0,3000	0,2062	1,08	20,3	45,1
Campo Largo II	20-40	0,2804	0,1923	1,41	24,8	
Colombo I	0-20	0,5290	0,1656	1,10	79,9	114,2
Colombo I	20-40	0,4611	0,2946	1,03	34,3	
Colombo II	0-20	0,4471	0,2260	1,05	46,4	80,1
Colombo II	20-40	0,3951	0,2346	1,05	33,7	

$\theta_{CC}$  e  $\theta_{PMP}$  – umidade com base em volume.

Os resultados apresentados na Tabela 3 permitem verificar, até a profundidade de 40 cm, que os Latossolos presentes nas propriedades Campo Largo I, Campo Largo II e Colombo II possuem valor de *CAD* igual a 41,1, 45,1 e 80,1 mm, respectivamente. O Cambissolo da propriedade Colombo I apresentou valor de *CAD* igual a 114,2 mm. Os cálculos da *CAD* foram realizados aplicando-se a Equação 6.

A capacidade de água disponível no solo (*CAD*) deve-se a uma série de características do solo, e, dependendo do manejo agrícola a que este solo é imposto, a *CAD* pode ter o seu valor alterado ainda mais em função de uma série de outros fatores. Dessa forma, é difícil tentar comparar os valores de armazenamento obtido nesse trabalho com os obtidos por outros autores em locais diferentes ao que está sendo pesquisado. Assim, só para se ter um parâmetro sobre os valores de *CAD* apresentados na Tabela 3, verificou-se que: os Latossolos de Campo Largo I e II apresentaram, respectivamente, valores de *CAD* 17,2 e 21,2 mm maiores do que a média dos Latossolos (23,9 mm) apresentados por Rosa (2004); o Latossolo da propriedade Colombo II e o Cambissolo da Colombo I apresentaram, respectivamente, valores de *CAD* 62,9 e 60,6 mm superiores aos valores apresentados por Rosa (2004).

A Tabela 4 apresenta os valores médios de  $\theta_{CC}$ ,  $\theta_{PMP}$  e  $d_{as}$ , coletados nas propriedades Colombo I e II e Campo Largo I e II (média dos valores da Tabela 3) e utilizados como parâmetros para o cálculo da capacidade de água disponível (*CAD*) e água disponível no solo (*AD*) no programa “MORETTI – Módulo: Balanço hídrico climatológico decenal irrigacionista”. Os valores médios de densidade aparente do solo, amostrados nas propriedades

próximas às ETes Cambuí e Colombo Sede, foram iguais a 1,25 e 1,06  $\text{g cm}^{-3}$ , respectivamente (média dos valores apresentados na Tabela 3). As determinações da *CAD* e da *AD* foram feitas com as Equações 6 e 7, respectivamente. Conforme comentado na metodologia, a água disponível no solo (*AD*) foi determinada com a entrada de valores de fração água disponível (*p*) para três grupos de culturas, sendo iguais a 0,4 para as olerícolas (*AD*<sub>0,4</sub>), 0,5 para frutas/forrageiras (*AD*<sub>0,5</sub>) e 0,6 para grãos (*AD*<sub>0,6</sub>).

A Tabela 5 apresenta os valores médios de evapotranspiração da cultura, precipitação, irrigação, evapotranspiração real, deficiência e excedente, obtidos com a realização das 10.000 análises de simulação do módulo balanço hídrico, para as localidades de Campo Largo e Colombo.

Em média, ao longo do ano, para as localidades estudadas e para a condição de irrigação suplementar cobrindo toda a área, os resultados apresentados na Tabela 5 evidenciam que:

- a *ETc* para as olerícolas, as frutas/forrageiras e os grãos ficou em torno de 526,9, 602,3 e 677,2 mm, respectivamente;

- a lâmina de irrigação suplementar necessária para as olerícolas, as frutas/forrageiras e os grãos ficou em 123,5, 158,9 e 205,3 mm, respectivamente;

- como o programa balanço hídrico utilizado estima a necessidade de irrigação para um período decenal, verifica-se que mesmo empregando um manejo de irrigação suplementar, ao longo de todo o ano, houve um pouco de deficiência. Dessa forma, a deficiência (*DEF*) estimada para as olerícolas, as frutas/forrageiras e os grãos ficaram em torno de 4,2, 5,2 e 7,5 mm, respectivamente;

- como houve deficiência, a *ER* ficou abaixo da *ETc*, sendo para as olerícolas, as frutas/forrageiras e os grãos iguais a 522,8, 597,1 e 669,7 mm, respectivamente;

- com exceção das olerícolas, que são muito sensíveis ao estresse hídrico, o uso da irrigação sendo quase sempre indispensável, verifica-se que as frutas/forrageiras e os grãos quase não necessitam de irrigação em um solo que apresenta maior capacidade de armazenamento. Baseando-se na região de Colombo, onde a *CAD* ficou em 103,4 mm, e levando-se em consideração a ocorrência de precipitações prováveis em nível de 75% de probabilidade, verifica-se que seriam necessárias em torno de 2 a 5 irrigações apenas ao longo do ano. Para a localidade de Campo Largo, que apresenta

**Tabela 4.** Parâmetros físico-hídricos médios utilizados como entrada no modelo *MORETTI* para o cálculo da capacidade de água disponível (*CAD*) e água disponível no solo (*AD*), nas propriedades próximas às ETEs Cambuí e Colombo Sede.

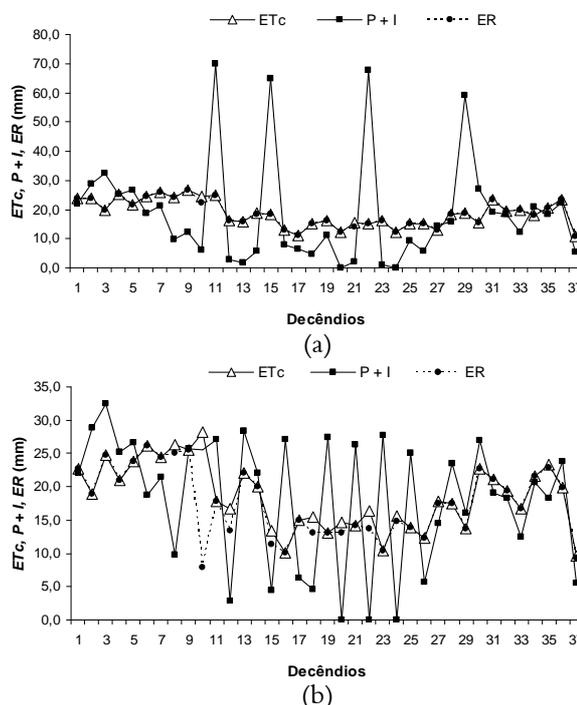
Profundidade (cm)	$\theta_{CC}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$\theta_{PMP}$ (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )	$d_a$ (g cm <sup>-3</sup> )	<i>CAD</i> (mm)	<i>AD</i> <sub>0,4</sub> (mm)	<i>AD</i> <sub>0,5</sub> (mm)	<i>AD</i> <sub>0,6</sub> (mm)
Campo Largo (propriedades próxima à ETE Cambuí)							
0-25 ( <i>z</i> = 250 mm)	0,254	0,167	1,25	43,3	17,3	21,7	26,0
25-40 ( <i>z</i> = 150 mm)	0,267	0,181	1,25				
Colombo (propriedades próxima à ETE Colombo Sede)							
0-25 ( <i>z</i> = 250 mm)	0,488	0,196	1,06	103,3	41,3	51,7	62,0
25-40 ( <i>z</i> = 150 mm)	0,428	0,265	1,06				

**Tabela 5.** Valores médios da evapotranspiração da cultura (*ETc*), precipitação (*P*), irrigação (*I*), evapotranspiração real (*ER*), deficiência (*DEF*), excedente (*EXC*) e frequência de irrigações no ano (*Fi*), obtidos de 10.000 simulações com o “Balanço hídrico climatológico irrigacionista”, para as localidades de Campo Largo e Colombo, considerando três grupos de cultura (olerícolas, frutas/forrageiras e grãos) e três frações *p* (0,4; 0,5 e 0,6).

Cultura	Fração <i>p</i>	Manejo Irrigação	<i>ETc</i> (mm)	<i>P</i> (mm)	<i>I</i> (mm)	<i>ER</i> (mm)	<i>DEF</i> (mm)	<i>EXC</i> (mm)	<i>Fi</i>
Campo Largo ( <i>CAD</i> = 43,3 mm)									
Olerícula	0,4	Ano todo	526,90	469,00	125,61	519,51	7,39	73,14	8 (5 a 11)
Olerícula	0,4	Sem	527,00	469,00	0,00	423,72	103,29	45,25	—
Frutas/Forrageiras	0,5	Ano todo	602,36	469,00	160,79	593,41	8,95	35,35	8 (5 a 11)
Frutas/Forrageiras	0,5	Sem	602,18	469,00	0,00	457,34	144,84	11,63	—
Grãos	0,6	Ano todo	677,57	469,00	201,75	664,96	12,61	5,68	8 (5 a 13)
Grãos	0,6	Sem	677,54	469,00	0,00	468,92	208,63	0,05	—
Colombo ( <i>CAD</i> = 103,3 mm)									
Olerícula	0,4	Ano todo	526,98	469,00	121,44	526,06	0,92	64,35	3 (2 a 4)
Olerícula	0,4	Sem	528,28	469,00	0,00	465,64	62,64	3,33	—
Frutas/Forrageiras	0,5	Ano todo	602,22	469,00	156,96	600,72	1,50	25,21	3 (2 a 4)
Frutas/Forrageiras	0,5	Sem	601,53	469,00	0,00	468,97	132,56	0,00	—
Grãos	0,6	Ano todo	676,76	469,00	208,86	674,41	2,35	3,42	3 (2 a 5)
Grãos	0,6	Sem	677,40	469,00	0,00	468,97	208,43	0,00	—

*CAD* igual a 43,2 mm, verificou-se que a frequência de irrigação teria de ser um pouco maior, em torno de 5 a 13 irrigações ao longo do ano. No entanto, é interessante lembrar que o uso da irrigação pode ser realizado em função de outros fatores além da frequência de irrigação necessária para suprir os déficits, como: risco climático, retorno econômico, sustentabilidade ambiental, entre outros. Para Oliveira e Carvalho (1998), o uso da irrigação suplementar se constitui em uma importante alternativa para o desenvolvimento da agricultura, diminuindo assim os riscos de perdas de produção.

Os balanços hídricos simulados para as propriedades localizadas em Colombo e Campo Largo, conforme pode ser observado na Tabela 5, apresentaram resultados bem parecidos. Esse fato é importante e demonstra que o “Balanço hídrico climatológico decendial irrigacionista”, apesar de simular a *ET<sub>0</sub>* e realizar as irrigações considerando um período decendial, está estimando bem a deficiência e a necessidade de irrigação da região, mesmo para uma situação em que o armazenamento da água no solo é bem diferente (103,4 mm para Colombo e 43,2 mm para Campo Largo). Como exemplo, entre as 10.000 simulações, a Figura 5 apresenta apenas um ano de balanço hídrico decendial realizado, considerando a irrigação ao longo de todo o ano em Colombo e Campo Largo.

**Figura 5.** Exemplo de balanço hídrico climatológico decendial ao longo de um ano, realizado para as localidades de (a) Colombo e (b) Campo Largo, considerando o armazenamento de água no solo respectivo das duas localidades, *K<sub>c</sub>* para grãos (0,9) e fração *p* igual a 0,6.

Conforme se pode verificar na Tabela 5 e na Figura 5, os valores de *ER* e *DEF* foram bem

**Tabela 6.** Área que poderia ser irrigada na região das ETEs Colombo Sede e Cambuí, levando-se em consideração a vazão das mesmas e a maior amplitude entre  $ET_0$  e precipitação, estimadas ao nível de 75% de probabilidade ao longo do ano para Pinhais.

ETEs	Vazão (Q)		Maior amplitude entre $ET_{0,75\%} - P_{75\%}$ provável **				Área irrigada (ha)	
	$Q_{projeto}$ ( $m^3 dia^{-1}$ )	$Q_{operação}$ ( $m^3 dia^{-1}$ )	(mm decêndio <sup>-1</sup> )	(mm dia <sup>-1</sup> )	( $m^3 ha^{-1} dia^{-1}$ )	(Decêndio)	$Q_{projeto}$	$Q_{operação}$
Colombo Sede	2.592	216	21,8	2,18	21,8	12 (21/4 a 30/4)	118,9	9,9
Cambuí	8.640	4.315	21,8	2,18	21,8	12 (21/4 a 30/4)	396,3	197,9

\*\* Maior amplitude verificada entre a  $ET_0$  e a precipitação, estimadas a 75% de probabilidade para Pinhais.

próximos para as duas localidades, quando se irrigou o ano todo, porém a frequência de irrigação empregada foi muito diferente (Figura 5). Esse fato evidencia, na região, mesmo para uma situação de cultivo com irrigação suplementar, que os agricultores que se encontram situados em solos com baixo armazenamento de água sempre terão maiores custos com o manejo da irrigação, principalmente com mão-de-obra, devido à frequência de irrigação necessária.

Os resultados apresentados na Tabela 5 indicam ainda que mesmo considerando a precipitação provável em nível de 75% de probabilidade, as deficiências e, conseqüentemente, a necessidade de irrigação na região de Colombo e Campo Largo ainda é pequena. Esse fato evidencia, no curto prazo, que o agricultor da região, para se sentir motivado a utilizar irrigação com água residuária, terá de ser incentivado com algum tipo de benefício.

A Tabela 6 apresenta a área possível de ser irrigada nas localidades de Campo Largo e Colombo. Os números foram obtidos a partir dos valores de vazão de esgoto (projeto e operação) das ETEs Colombo Sede e Cambuí, e da maior amplitude verificada entre a  $ET_0$  e a precipitação, estimadas em nível de 75% de probabilidade para Pinhais.

Apesar da necessidade de irrigação na região Metropolitana de Curitiba ser suplementar em alguns períodos do ano, é interessante observar que a quantidade de água residuária disponível não é muito grande nas duas regiões estudadas. Uma análise na Tabela 6, que foi constituída considerando: (a) a maior amplitude entre a  $ET_0$  e a precipitação, estimadas ao nível de 75% de probabilidade de ocorrência ao longo do ano (decêndio 12, entre 21/4 a 30/4 – obtida com os dados de Pinhais); e (b) sistema de irrigação por aspersão cobrindo toda a área, permite verificar que:

- apenas 118,9 e 9,9 ha poderão ser irrigados na região da ETE Colombo Sede, levando-se em consideração a vazão de projeto e operação da referida ETE, respectivamente;
- 396,3 e 197,9 ha poderão ser irrigados na região da ETE Cambuí, levando-se em consideração a vazão de projeto e a operação da referida ETE, respectivamente;
- os resultados obtidos para as duas ETEs

concordam com as observações feitas por Oliveira *et al.* (2002), que afirmam, em termos quantitativos, que o volume de águas residuárias disponíveis para a irrigação geralmente é insignificante em comparação com o total de água usado na agricultura irrigada. Porém, os mesmos autores acrescentam que as possíveis conseqüências de seu uso são de tal importância econômica, ambiental e social, que a necessidade do planejamento para o seu uso para fins agrícolas é justificada.

## Conclusão

Considerando a precipitação provável em nível de 75% de probabilidade, verifica-se que as lâminas de irrigação suplementar necessárias para olerícolas, frutas/forrageiras e grãos, nas regiões de Colombo e Campo Largo; ficam em torno de 123,5, 158,9 e 205,3 mm, respectivamente, sendo necessárias entre 2 e 5 irrigações.ano<sup>-1</sup>, na localidade de Colombo ( $CAD = 103,4$  mm), e entre 5 e 13 irrigações.ano<sup>-1</sup>, para Campo Largo ( $CAD = 43,2$  mm).

Levando-se em consideração a vazão de projeto e a vazão de operação, e baseando-se na maior amplitude entre a  $ET_0$  e a precipitação, estimadas em nível de 75% de probabilidade para Pinhais, apenas 118,9 e 9,9 ha poderão ser irrigados na região da ETE Colombo Sede, respectivamente, e 396,3 e 197,9 ha poderão ser utilizados na região da ETE Cambuí, respectivamente.

## Referências

- ASSIS, F.N. *et al.* *Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática*. Pelotas: Universitária/UFPel, 1996.
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Brasília: Embrapa Solos, 1999.
- FRIZZONE, J.A. *et al.* *Planejamento da irrigação: análise de decisão de investimento*. Brasília: Embrapa, 2005.
- GOMES, S. *Ajuste e avaliação de um modelo de balanço hídrico decendial e estudo dos limites de sua utilização em algumas localidades no Estado do Paraná*. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- MAROUELLI, W.A. *et al.* *Irrigação por aspersão em hortaliças:*

- qualidade da água, aspectos do sistema e método prático de manejo. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas/ Embrapa Hortaliças, 2001.
- OLIVEIRA, M.A.A.; CARVALHO, D.F. Estimativa da evapotranspiração de referência e da demanda suplementar de irrigação para o milho (*Zea mays* L.) em Seropédica e Campos, Estado do Rio de Janeiro. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 2, n. 2, p. 132-135, 1998.
- OLIVEIRA, R.A. et al. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico Vermelho-Amarelo. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2002.
- PEREIRA, A.R. et al. Evapo(transpi)ração. Piracicaba: Fealq, 1997.
- PREVEDELLO, C.L. Programa SPLINTEX, versão 1.0: Programa para estimar a curva de retenção de água a partir da granulometria do solo (software). Curitiba: UFPR/SCA/DSEA, 1999. (fornecimento pessoal, 1 disquete).
- REICHARDT, K. Dinâmica da Matéria e da Energia em Ecossistemas. 2. ed. Piracicaba: USP/Esalq/Departamento de Física e Meteorologia, 1996.
- RIJTENA, P.E. et al. *Research on crop water use, salt affected soils and drainage in the Arab Republic of Egypt*. Rome: FAO Regional Office for the Near East, 1975. p. 5-61.
- ROSA, J.A. *Programa irrigação noturna: manual técnico*. Curitiba: Emater, 2004.
- SANTANA, M.C. et al. Sistema de geoespacialização da demanda da irrigação suplementar para o estado de Minas Gerais II - Avaliação. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 64-71, 2003.
- SETTI, A.A. et al. *Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos*. 2. ed. Brasília: Aneel, 2001.
- SOUZA, J.T. et al. Desempenho da cultura do arroz irrigado com esgotos sanitários previamente tratados. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 107-110, 2001.
- SOUZA, J.L.M. *Modelo de análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do café*. 2001. Tese (Doutorado)–Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.
- SOUZA, J.L.M. Programa MORETTI – Módulo: Balanço hídrico climatológico decenal irrigacionista, Versão 2.0, 2005. Disponível em: <<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/>>. Acesso em: 4 mar. 2006
- SOUZA, J.L.M. Programa MORETTI – Módulo: Distribuição de frequência e teste de aderência, Versão 2.0, 2005. Disponível em: <<http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/>>. Acesso em: 4 mar. 2006
- SOUZA, J.L.M.; FRIZZONE, J.A. Modelo aplicado ao planejamento da cafeicultura irrigada: I. Simulação do balanço hídrico e do custo com água. *Acta Sci. Agron.*, Maringá, n. 1, v. 25, p. 103-112, 2003.
- SOUZA, J.L.M. et al. Avaliação do efeito da energia advectiva na estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Lavras-MG. *Rev. Setor Cienc. Agrárias*, Curitiba, v. 13, n. 1-2, p. 41-47, 1994.
- THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Rev.*, New York, v. 38, n. 1, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. *The water balance*. New Jersey: Drexel Institute of Technology: Publications in climatology, 1955.
- TORMENA, C.A. et al. Intervalo ótimo de potencial da água no solo: um conceito para avaliação da qualidade física do solo e manejo da água na agricultura irrigada. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.*, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 286-292, 1999.
- TRENTIN, C.V. *Diagnóstico voltado ao planejamento do uso de águas residuárias para irrigação nos cinturões verdes da região metropolitana de Curitiba – PR*. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- TRENTIN, C.V.; SOUZA, J.L.M. Possibilidade de utilização da irrigação com água residuária em torno das principais estações de tratamento de efluentes da Região Metropolitana de Curitiba. *Acta Sci. Agron.*, Maringá, n. 2, v. 28, p. 291-298, 2006.
- VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

Received on April 28, 2006.

Accepted on April 17, 2007.